

KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR LIMBAH BIOMASSA PADA APLIKASI PENYERAPAN CO₂ (*CARBON CAPTURE*): REVIEW

Nur Khotimah¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Kampus Bina Widya, Panam KM 12,5,
Pekanbaru, 28293
E-mail: nurkhotimah052@gmail.com

Abstract

The combustion of fossil fuels is the primary cause of climate change, resulting in 86% of carbon dioxide (CO₂) emissions. Activated carbon is a technology that can capture and reduce CO₂ emissions. The utilization of biomass as activated carbon has been a significant focus of research efforts to reduce CO₂ emissions and address global climate change. This article is a journal review discussing the characteristics and applications of activated carbon produced from biomass in the context of carbon capture. In this article, the focus is on methods of producing activated carbon from biomass, its physical and chemical characteristics, as well as CO₂ adsorption applications. The results indicate that activated carbon from biomass has significant potential in adsorption applications and contributes to global efforts to combat climate change. This review provides an understanding of recent developments in research and identifies future research directions that need to be explored to optimize the utilization of biomass-based activated carbon in CO₂ adsorption.

Keywords: *activated carbon, biomass, carbon capture*

Abstrak

Pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab utama perubahan iklim, yang menyebabkan 86% emisi karbon dioksida (CO₂). Karbon aktif adalah teknologi yang dapat menangkap dan mengurangi emisi CO₂. Pemanfaatan biomassa sebagai karbon aktif telah menjadi fokus utama penelitian yang signifikan dalam upaya mengurangi emisi karbon dioksida dan mengatasi perubahan iklim global. Artikel ini merupakan review jurnal yang membahas tentang karakteristik dan aplikasi karbon aktif yang dihasilkan dari biomassa dalam rangka penangkapan karbon (*carbon capture*). Pada artikel ini, fokusnya adalah pada metode produksi karbon aktif dari biomassa, karakteristik fisik dan kimianya, serta aplikasi penyerapan CO₂. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon aktif dari biomassa mempunyai potensi besar dalam aplikasi penyerapan dan berkontribusi terhadap upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Tinjauan ini memberikan pemahaman mengenai perkembangan penelitian terkini dan mengidentifikasi arah penelitian masa depan yang perlu dieksplorasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan karbon aktif berbahan dasar biomassa dalam penyerapan CO₂.

Kata Kunci: *karbon aktif, biomassa, penyerapan CO₂*

PENDAHULUAN

Krisis perubahan iklim saat ini merupakan masalah global yang membutuhkan tindakan yang cepat dan efisien. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil untuk energi dan proses industri (Rahmadania, 2022). Pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan 86% emisi

karbon dioksida selama 10 tahun terakhir (Van Asselt & Green, 2023). Menurut data dari *Global Monitory Laboratory*, tingkat konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer global sudah mencapai 420,50 ppm (*part per million*) pada Mei 2023 (NOAA, 2023). Padahal batas aman untuk konsentrasi CO₂ di atmosfer berada pada 350 ppm agar mencegah mencairnya es di kutub Antartika yang dapat menyebabkan naiknya permukaan air laut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan teknologi yang dapat menangkap dan mengurangi emisi CO₂ dari sumber-sumber tersebut.

Teknologi penyerapan karbon (*carbon capture*) adalah salah satu teknologi yang paling menjanjikan untuk mengurangi emisi CO₂. Ini bekerja dengan mengambil CO₂ dari sumber emisi utama, seperti kilang minyak, pembangkit listrik berbahan bakar fosil, dan pabrik besar lainnya, dan kemudian mengisolasi dan menyimpannya sebelum mencapai atmosfer. Pengembangan dan penerapan teknologi penyerapan karbon yang efektif sangat penting untuk mengurangi emisi CO₂ dan memitigasi dampak perubahan iklim global. Salah satu komponen utama dalam teknologi penyerapan karbon adalah adsorben yang efisien dalam menyerap CO₂. Karbon aktif memiliki struktur pori yang besar dan luas permukaan yang tinggi sehingga terbukti sangat efektif dalam menyerap CO₂ (Fatmawati et al., 2021). Namun, mengembangkan karbon aktif yang efektif dan berkelanjutan merupakan sebuah tantangan tersendiri. Di sinilah peran limbah biomassa menjadi sangat penting. Biomassa seperti tempurung kelapa, serbuk kayu, sekam padi, dan limbah pertanian lainnya, merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui dan melimpah (Dailami et al., 2020). Penggunaan limbah biomassa sebagai bahan baku untuk menghasilkan karbon aktif tidak hanya mendukung konsep daur ulang dan pengurangan limbah, tetapi juga dapat menciptakan produk yang berkelanjutan secara ekonomis.

Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan karbon aktif dari limbah biomassa dalam konteks aplikasi penyerapan CO₂ adalah topik yang sangat relevan dan penting. Dalam upaya untuk memahami perkembangan terbaru, keunggulan, dan tantangan yang terkait dengan karbon aktif dari limbah biomassa untuk aplikasi penyerapan CO₂, penelitian berupa artikel review menjadi sangat diperlukan. Artikel review ini akan membahas metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari biomassa, serta implikasinya dalam teknologi penyerapan CO₂ yang lebih efisien dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Review ini dilakukan dengan mengumpulkan literatur ilmiah terkait karbon aktif berbahan dasar biomassa yang diaktivasi dengan metode aktivasi kimia dan fisika. Pencarian dalam berbagai basis data ilmiah dan memilih jurnal-jurnal yang telah dipublikasikan dalam rentang waktu lima tahun terakhir untuk memastikan relevansi dengan perkembangan terkini dalam artikel ini. Beberapa penelitian mengkaji sifat kimia dan fisika dari karbon aktif berbasis biomassa, karbon aktif yang dihasilkan dianalisis menggunakan teknik-teknik seperti *energy dispersive x-ray* (EDX) untuk menentukan komposisi kimia, analisis luas permukaan dengan metode *brunauer emmett teller* (BET), difraksi sinar-X (XRD), analisis morfologi dengan *scanning electron microscopy* (SEM) dan analisis *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pembuatan Karbon Aktif

1. Dehidrasi

Pengurangan air dalam bahan dasar pembuatan karbon aktif disebut dehidrasi, dilakukan untuk meningkatkan proses karbonisasi, biasanya dengan mengeringkan bahan baku di bawah sinar matahari atau dalam oven (Ramadhani et al., 2020).

2. Proses karbonisasi

Proses karbonisasi adalah proses pembakaran bahan-bahan organik yang ada dalam bahan dasar pembuatan karbon aktif pada temperatur dibawah 400-600°C di dalam kondisi inert. Terbentuknya atau terbukanya pori-pori disebabkan oleh pelepasan unsur-unsur yang mudah. Selama proses ini struktur pori material akan berubah (Ramadhani et al., 2020).

3. Proses aktivasi

Proses ini bertujuan untuk memperbesar pori-pori, terutama dengan memutus ikatan hidrokarbon, akibatnya sifat fisika dan kimia arang berubah, luas permukaannya bertambah, yang berdampak pada kapasitas adsorpsinya (Winata et al., 2021).

a. Aktivasi kimia

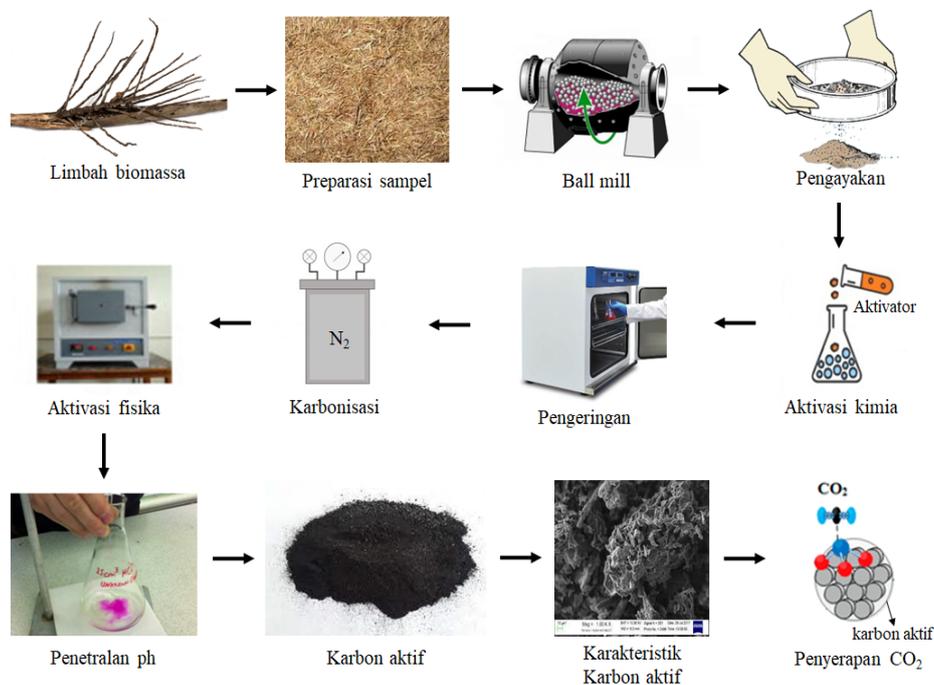
Aktivasi kimia dikenal sebagai proses satu langkah, karena karbonisasi dan aktivasi berjalan secara bersamaan. Bahan berkarbon dicampur dengan bahan kimia seperti oksidan (KOH, ZnCl₂, H₃PO₄, K₂CO₃ dan lain-lain). Kemudian, campuran yang

diresapi diaktivasi dan dikarbonisasi secara bersamaan pada temperatur 400-600°C untuk menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang sesuai (Naji & Tye, 2022).

b. Aktivasi fisika

Aktivasi fisika merupakan proses yang dilakukan dalam dua tahap. Setelah tahap karbonisasi, karbon yang dihasilkan diaktivasi menggunakan gas pengoksidasi, seperti CO₂, dan campuran uap atau udara pada temperatur 800-1000°C, yang akan membentuk luas permukaan dengan struktur pori yang kompleks (Naji & Tye, 2022).

Proses pembuatan karbon aktif berbahan dasar limbah biomassa dengan menggunakan metode aktivasi kimia dan aktivasi fisika dapat dilihat pada gambar 1. Hasil dari karbon aktif kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui luas permukaan dan struktur pori serta kemampuan adsorpsi atau penyerapannya terhadap CO₂.



Gambar 1. Proses pembuatan karbon aktif dari limbah biomassa

Karbon aktif yang diproduksi diharapkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Salah satu syarat mutu yang menjadi acuan produk karbon aktif adalah Standar Nasional Indonesia (SNI). Syarat mutu karbon aktif diatur dalam SNI No. 06-3730-1995 diantaranya kadar air, kadar abu, karbon murni dan daya serap iodin. Kualitas suatu karbon aktif diukur berdasarkan persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Persyaratan karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995

uraian	Satuan	Persyaratan	
		Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Maks 15	Maks 25
Kadar air	%	Maks 4,5	Maks 15
Kadar abu	%	Maks 2,5	Maks 10
Daya serap terhadap larutan I ₂	mg/g	Min 750	Min 750
Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

Karakteristik Karbon Aktif

Kualitas karbon aktif dapat ditentukan dengan beberapa parameter, diantaranya adalah bilangan iodin (*iodine number*), luas permukaan dan struktur pori.

- Bilangan iodin didefinisikan sebagai jumlah iodine (dalam miligram) yang diadsorpsi oleh karbon aktif (per gram) dari larutan iodine (ASTM D4607-94). Bilangan yang tinggi menunjukkan derajat aktivasi yang tinggi.
- Luas permukaan menyatakan kapasitas adsorpsi dari suatu absorben atau material berpori. Karakteristik karbon aktif dari luas permukaan dilakukan dengan menggunakan *Brunauer Emmett Teller* (BET).
- Struktur pori dari karbon aktif terbentuk selama proses karbonisasi dan aktivasi. Untuk mengetahui struktur, karakteristik pori serta sifat topografi permukaan suatu karbon aktif dikarakterisasi dengan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Tabel 2.
Perbandingan karakterisasi karbon aktif dari biomassa

Bahan dasar	Metode aktivasi	Karakterisasi	Referensi
Daun kelapa sawit	Kimia (KOH)	XRD, SEM, dan FTIR	(Farma & Tondang, 2019)
Arang bakau	Kimia (H ₃ PO ₄) dan Fisika (<i>microwave</i>)	SEM	(Udyani et al., 2019)
Cangkang buah karet	Fisika (<i>steam</i>)	FTIR, XRD dan SEM	(Efiyanti et al., 2020)
Tandan kosong kelapa sawit	Kimia (KOH)	EDX, XRD, SEM, SAA	(Hardi et al., 2020)
Kulit kakao	Kimia (KOH)	XRD, BET	(Kurnia et al., 2021)
Pelepah aren	Kimia (KOH) dan Fisika (CO ₂)	XRD	(Putri & Farma, 2021)
Kulit Pisang Kepok	Kimia (NaOH, H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄ dan ZnCl ₂)	SEM, XRD, FTIR	(Reza et al., 2022)

Penyerapan Karbon Dioksida (CO₂)

Penyerapan CO₂ oleh karbon aktif terjadi melalui berbagai mekanisme fisika dan kimia, termasuk adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur kapasitas penyerapan CO₂ oleh karbon aktif. Beberapa metode umum yang digunakan yaitu:

- Metode gravimetrik melibatkan penimbangan sampel karbon aktif sebelum dan sesudah penyerapan CO₂. Perbedaan berat adalah indikator kapasitas penyerapan.
- Metode *carrier gas* melibatkan pengukuran perubahan komposisi gas dalam sistem ketika karbon aktif menyerap CO₂. Analisis gas *chromatography* atau *infrared spectroscopy* sering digunakan untuk mengukur konsentrasi CO₂.
- Metode volumetrik melibatkan pengukuran perubahan volume gas (biasanya gas penyangga seperti nitrogen) yang diserap oleh karbon aktif saat CO₂ diserap.

Tabel 3.
Perbandingan penyerapan CO₂ karbon aktif dari biomassa

Bahan dasar	Luas permukaan	Volume pori	Kapasitas penyerapan CO ₂	Referensi
Cangkang biji teh	1187,93 m ² /g	0,52 cm ³ /g	2,75 mmol/g pada 25°C, 1 bar	(Quan et al., 2019)
Cangkang sawit	473 dan 1361 m ² g ⁻¹	0,18 dan 0,51 cm ³ g ⁻¹	103 dan 217 mg CO ₂ g ⁻¹ pada 273 K	(Acevedo et al., 2020)
Limbah bambu	532 m ² /g	-	2,63 mmol/g pada 25°C, 1 bar	(Dilokekunakul et al., 2020)
Sekam padi	1496 m ² /g	0.786 cm ³ /g	3,68 mmol/g pada 25°C, 1 bar	(He et al., 2021)
Pohon birch	424 – 738 m ² g ⁻¹	0,27 – 0,50 cm ³ .g ⁻¹	4,50 mmol.g ⁻¹ pada 273 K dan 4,06 mmol.g ⁻¹ 298 K	(Kishibayev et al., 2021)
Serbuk gergaji pinus	-	0,328 cm ³ /g	4,86 mmol/g pada 273 K dan 3,62 mmol/g pada 298 K	(Ruan et al., 2022)

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan biomassa dalam produksi karbon aktif telah menghasilkan adsorben yang efektif untuk penyerapan CO₂. Karbon aktif berbasis biomassa ini memiliki luas permukaan yang besar, struktur pori yang dapat disesuaikan, dan kemampuan menyerap CO₂ yang tinggi. Metode aktivasi, seperti aktivasi kimia dan fisika, juga berpengaruh signifikan terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan.

SIMPULAN

Review ini menggaris bawahi potensi besar penggunaan karbon aktif dari biomassa dalam aplikasi penyerapan CO₂. Karbon aktif berbasis biomassa ini menawarkan solusi yang efisien dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah emisi CO₂. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih dalam karakteristik karbon aktif berbasis biomassa ini dan untuk mengoptimalkan proses produksinya guna mendukung pengembangan teknologi penyerapan CO₂ yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, dengan penekanan pada penggunaan biomassa sebagai bahan baku karbon aktif dapat mengarahkan upaya penelitian menuju solusi yang lebih berkelanjutan dalam mengatasi tantangan perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

- Acevedo, S., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2020). Adsorption of CO₂ on Activated Carbons Prepared by Chemical Activation with Cupric Nitrate. *ACS Omega*, 5(18), 10423–10432. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00342>
- Dailami, D., Pribadyo, P., & Hanif, H. (2020). Pengaruh Komposisi Dan Kuat Tekan terhadap Tingkat Kerapuhan Briket Arang Biomasa Campur Batubara dengan Tepung Kanji sebagai Perekat. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2(1), 67–72.
- Dilokekunakul, W., Teerachawanwong, P., Klomkliang, N., Supasitmongkol, S., & Chaemchuen, S. (2020). Effects of nitrogen and oxygen functional groups and pore width of activated carbon on carbon dioxide capture: Temperature dependence. *Chemical Engineering Journal*, 389. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124413>
- Efiyanti, L., Wati, S. A., & Maslahat, M. (2020). Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 14, 94–108. <https://doi.org/10.22146/jik.57479>
- Farma, R., & Tondang, O. L. (2019). Analisis Sifat Fisis Karbon Aktif Dari Biomassa Daun Kelapa Sawit Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator KOH Berbantuan Iradiasi Gelombang Mikro. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau IV, September*, 978–979.
- Fatmawati, S., Syar, N. I., Suhartono, S., Maulina, D., & Ariyadi, R. (2021). Arang Aktif Gambut Sebagai Filter Logam Berat Mercury (Hg). *Jurnal Ilmiah Sains*, 63–72.
- Hardi, A. D., Joni, R., & Aziz, H. (2020). Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*, 9(4), 479–486. <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/>
- He, S., Chen, G., Xiao, H., Shi, G., Ruan, C., Ma, Y., Dai, H., Yuan, B., Chen, X., & Yang, X. (2021). Facile preparation of N-doped activated carbon produced from rice husk for CO₂ capture. *Journal of Colloid and Interface Science*, 582, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.08.021>
- Kishibayev, K. K., Serafin, J., Tokpayev, R. R., Khavaza, T. N., Atchabarova, A. A.,

- Abduakhytova, D. A., Ibraimov, Z. T., & Sreńscek-Nazzal, J. (2021). Physical and chemical properties of activated carbon synthesized from plant wastes and shungite for CO₂ capture. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106798>
- Kurnia, K. I. F., Pangarso, Z. D., & Cahyaningsih, L. (2021). Pemanfaatan Biomassa Kulit Kakao Sebagai Material Karbon Aktif Berpori Pada Elektroda Superkapasitor Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Penalaran Dan Penelitian Mahasiswa*, 5(1), 34–45.
- Naji, S. Z., & Tye, C. T. (2022). Energy Conversion and Management : X A review of the synthesis of activated carbon for biodiesel production : Precursor , preparation , and modification. *Energy Conversion and Management: X*, 13, 100152. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100152>
- NOAA. (2023). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>
- Putri, H., & Farma, R. (2021). Pembuatan Dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif Dari Biomassa Pelepah Aren Dengan Persentase Koh. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 18(1), 75. <https://doi.org/10.31258/jkfi.18.1.75-80>
- Quan, C., Jia, X., & Gao, N. (2019). Nitrogen-doping activated biomass carbon from tea seed shell for CO₂ capture and supercapacitor. *International Journal of Energy Research*, 44(2). <https://doi.org/10.1002/er.5017>
- Rahmadania, N. (2022). Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penanggulangannya. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(3).
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Reza, M., Ernawati, L., Pusfitasari, M. D., Sylvia, N., Noor, A. H., & Ali, L. G. (2022). Karakterisasi Karbon Aktif Dari Kulit Pisang Kepok Sebagai Superkapasitor. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2), 53–60. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v16i2.3045
- Ruan, W., Wang, Y., Liu, C., Xu, D., Hu, P., Ye, Y., Wang, D., Liu, Y., Zheng, Z., & Wang, D. (2022). One-step fabrication of N-doped activated carbon by NH₃ activation coupled with air oxidation for supercapacitor and CO₂ capture applications. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105710>
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika Dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2019.v23i1>
- Van Asselt, H., & Green, F. (2023). COP26 and the dynamics of anti-fossil fuel norms. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 14(3), 1–12. <https://doi.org/10.1002/wcc.816>
- Winata, B. Y., Erliyanti, N. K., Yogaswara, R. R., & Saputro, E. A. (2021). Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Proses Aktifasi Kimia pada Kapasitas 20.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 1–5. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.52338>